

文章编号:1007-6735(2011)03-0303-04

容量限制停车场收费管理

刘子长¹, 张小宁², 曹 津¹

(1. 同济大学 教育部道路与交通工程重点实验室, 上海 201804;

2. 同济大学 经济与管理学院, 上海 200092)

摘要: 提出一种停车场容量限制条件下的停车收费管理方法,通过对不同停车场收取差异的停车费,最大限度地利用每个停车场的容量,同时避免过量的小汽车出行导致无法停车.从出行者的时间价值(VOT)出发,分析不同出行者对交通方式、停车场选择做出的相应决策.建立有容量限制停车场的超网络,计算网络均衡状态下最大限度利用停车场容量的停车收费价格.假设出行者的时间价值服从连续型分布,在此基础上得到网络交通流平衡状态下出行总成本与时间价值的函数关系,由此提出一种求解停车收费最优定价的算法.通过算例对求解方法进行说明,结果显示,这种最优定价算法是可行的.

关键词: 容量限制停车场; 停车收费; 时间价值

中图分类号: U 491 **文献标志码:** A

Parking fee management with capacity constrained park lots

LIU Zi-chang¹, ZHANG Xiao-ning², CAO Jin¹

(1. Key Lab of Road and Traffic Engineering at the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;

2. School of Economics and Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: A new method of parking fee management is proposed under the condition of capacity constrained parking lots, the capacities of all parking lots are fully used by charging differentiated parking fees, meanwhile excessive trips via private cars are avoided to prevent illegal parking. In accordance with the values of time (VOT) of individual travelers, the decision of mode and parking lot choices for different travelers is investigated. The super network with capacity constrained parking lots is established, and the parking fee scheme that assures the maximal use of parking lots is proposed. In this paper, it is assumed that traveler's value of time follows continuous distribution, based on which the function of generalized travel cost with respect to VOT is obtained under the network equilibrium condition, thus an algorithm of determining optimal parking fees is proposed. A numerical example is illustrated and it is shown that the method is effective.

Key words: capacity constrained parking lots; parking fee; value of time

收稿日期: 2011-06-02

基金项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划项目资助(NCET-10-0637)

作者简介: 刘子长(1986-),男,博士研究生.研究方向:交通科学与工程. E-mail: LZC1018@163.com

张小宁(联系人),男,研究员.研究方向:交通科学与工程. E-mail: cexzhang@tongji.edu.cn

长期以来,“室内不满,路外拥挤”的不合理停车现象已经严重阻碍城市的交通发展和空间资源的有效利用,其主要原因:一是停车收费管理混乱.停车场管理权归属公安交通管理部门,停车场的性质未经公安交通管理部门批准不得任意改变.但是实际上,作为经营停车场的管理单位,普遍存在着多头管理、各自为政的问题.二是停车收费方式不合理且价位较高.由于停车场各自管理,停车场与路网交通流独立,传统的收费方式没有考虑路段交通流变化,出行者选择停车场以方便和收费低为首要目标,从而容易形成部分路段拥堵、部分路段畅通的不均衡交通流,使得整个路网的出行效率降低,而且造成一部分停车场经济损失较大.因此,笔者根据具有不同时间价值(value of time, VOT)的出行者对交通方式、停车方式所做出的相应决策,提出了针对容量限制停车场的停车收费策略.将停车的行为作为出行这项活动的一部分,将停车场和路网结合进行整体考虑,制定合理的收费价格,正确引导路段交通流向,使得网络交通流达到均衡状态,解决传统收费方式造成的不均衡现象,使得停车场整体效益最优,最大限度地利用道路资源和停车资源,同时也降低了不同出行群体的出行成本.算例分析表明,该模型所提出的停车场收费策略,能降低出行者成本和提高停车场的效益.

1 模型假设

如图1所示,出行者从A地出发前往B地可以选择路径1(自驾车)或者路径2(乘火车)^[1]并在到达后选择一处停车场存放车辆,其中有 P_1 、 P_2 、 P_3 总共3个停车场可供停放.其中假设:

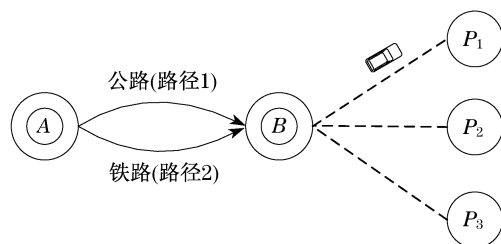


图1 模型网络

Fig.1 A sample model network

a. 均衡状态下A地出行者总数量稳定,不发生变化,且驾车出行总人数等于3个停车场容量总和,保证每一个驾车者有泊位可供使用.

b. B地的来访者全部来自于A地,且乘坐火车

的出行者到B后不需要再换乘其它交通工具到达工作地,自驾车出行者到达停车场后步行至工作地.

一般情况下,VOT较高的高收入群体选择将车停放至距离最近的停车场 P_1 ,中等收入群体选择距离居中的停车场 P_2 ,低收入群体选择距离最远的停车场 P_3 ,收入更低且VOT较低的出行群体选择火车出行^[2].根据上述假设,定义文中将要使用的符号:

$i \in [1, 4]$,其中当 $i = 1, 2, 3$ 时即代表驾车出行, $i = 4$ 时即代表乘火车出行; P_i 为第 i 个停车场,其中 $P_4 = 0$; S_i 为从B到 P_i 的距离,其中 $S_4 = 0$ 且 $S_1 < S_2 < S_3$; X_i 为 P_i 的允许停车能力,即 P_i 的限制容量; C_0^i 为从A到B的出行费用(当 $i = 1, 2, 3$ 时即驾车出行费用,当 $i = 4$ 时即铁路出行车票费用); C_1^i 为 P_i 的停车费用,其中铁路出行不需要停车即 $C_1^4 = 0$; $C(\tau)$ 为出行者从A地到B地一次的出行总费用. $C(\tau)$ 包含出行的基本货币费用和时间费用,驾车者的基本货币费用包括燃油费、过路费、车损费和停车费,乘火车出行者的货币费用车票费, τ 为出行者VOT,把出行者的出行时间换算成等额货币费用.综上所述,出行者的总出行费用函数为

$$C(\tau) = \begin{cases} C_0^i + C_1^i + \tau(t_i + \bar{t}_i) & (i = 1, 2, 3) \text{ 自驾车} \\ C_0^i + \tau t_i & (i = 4) \text{ 乘火车} \end{cases} \quad (1)$$

式中, t_i 为出行者从A地到B地的行程时间,其中 $t_1 = t_2 = t_3$. t_i 为网络均衡状态下从A到 P_i 的流量 v_i 的增函数,采用美国BPR(bureau of public road)公式计算为

$$t_i = t_{0,a} \left[1.0 + 0.15 \left(\frac{v_1 + v_2 + v_3}{C} \right)^4 \right], \quad (i = 1, 2, 3) \quad (2)$$

式中, $t_{0,a}$ 为公路自由流行程时间; C 为公路的通行能力; v_1 、 v_2 、 v_3 分别为网络交通流均衡时通过自驾车方式到达 P_1 、 P_2 、 P_3 的流量. $\bar{t}_i$ 为出行者从B地行驶至到 P_i 的时间,其中 $\bar{t}_1 < \bar{t}_2 < \bar{t}_3$ 且 $\bar{t}_4 = 0$.

2 出行者时间价值与交通方式和停车方式选择分析

出行者的VOT服从对数正态分布(图2). VOT曲线与横坐标轴之间的面积代表所有VOT数值出现概率的总和,其值为1^[3]. 概率密度的公式^[4]为

$$f(\tau) = \frac{1}{\beta \sqrt{2\pi}} \tau^{-1} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln \tau - \alpha}{\beta}\right)^2\right],$$
$$0 < \tau < \infty, \beta > 0$$
$$\alpha = \ln \mu - \frac{1}{2}\beta^2, \beta^2 = \ln\left(1 + \frac{\delta^2}{\mu^2}\right)$$

(3)

(4)

式中, μ 、 δ 为 τ 的均值和标准差; α 、 β 为 $\ln \tau$ 的均值和标准差.

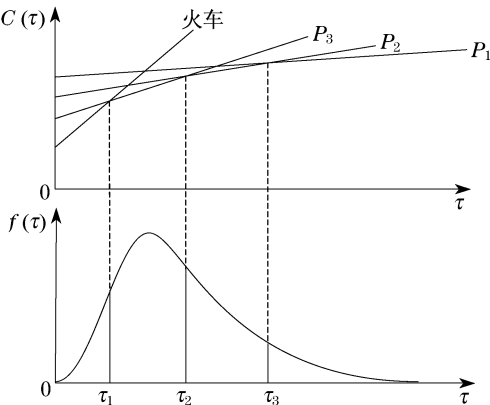


图2 出行者交通方式和停车方式随 VOT 分布变化
Fig.2 Traveller's travel mode and parking mode changing with VOT distribution

一般情况下,为了出行总成本最低和节约时间,VOT 很低的出行者选择乘坐火车,VOT 较低的出行者选择自驾车并且将车停放到距离最远同时价格最低的停车场 P_3 ,VOT 中等的出行者选择中等距离和中等价格的停车场 P_2 ,VOT 很高的出行者选择最近和价格最高的停车场 P_1 ,图2所示的是出行者 VOT 的概率密度 $f(\tau)$ 分布,以及出行者不同出行方式和停车方式选择(表1)对应的出行成本 $C(\tau)$ 的分布.

表1 不同 VOT 的出行方式和停车方式选择
Tab.1 Travel mode and parking mode choosing based on different VOT

VOT	出行方式和停车方式选择
$\tau \in [0, \tau_1]$	选择乘火车
$\tau \in [\tau_1, \tau_2]$	选择停车场 P_3
$\tau \in [\tau_2, \tau_3]$	选择停车场 P_2
$\tau \in [\tau_3, \infty]$	选择停车场 P_1

设 Q 为 A 地总出行者数量,自驾车并选择停车场 P_1 、 P_2 、 P_3 和乘坐火车的出行者数量分别为 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 、 Q_4 ,且有

$$Q_1 = Q \int_0^{\tau_1} f(\tau) d\tau$$

(5)

$$Q_2 = Q \int_{\tau_1}^{\tau_2} f(\tau) d\tau$$

(6)

$$Q_3 = Q \int_{\tau_2}^{\tau_3} f(\tau) d\tau$$

(7)

$$Q_4 = Q \int_{\tau_3}^{\infty} f(\tau) d\tau$$

(8)

综上,最优停车费的算法为:给定停车场 P_i 的限制容量 X_i ,当网络达到均衡状态时,选择不同停车方式的出行者数量为 X_i ,根据表1所示的出行方式和停车方式变化过程,依据对应的出行者数量,由式(5)~(8)求得均衡状态下分界 τ 值,且 $X_i = v_i$,由式(1)求出 t_i ,已知从 B 到 P_i 的时间为 $\bar{t}_i$,从 A 到 B 乘火车的时间 t_4 和出行费用 C_0^i ,由式(2)总出行费用函数 $C(\tau)$ 求出均衡状态下最优停车费 C_1^i .

3 算 例

如图1所示的交通网络,假设 A 地总出行者数量 $Q = 3\,000$ 人,公路通行能力 $C = 1\,500$ pcu/h,选择铁路出行人数 $Q_1 = 1\,800$ 人,停车场限制容量 $X_1 = 300$ 、 $X_2 = 400$ 、 $X_3 = 500$,从 B 到 P_i 的时间 $\bar{t}_1 = 6$ min、 $\bar{t}_2 = 12$ min、 $\bar{t}_3 = 25$ min,从 A 到 B 驾车自由流行驶时间 $t_{0,a} = 40$ min,乘火车时间 $t_4 = 120$ min,驾车费用 $C_0^1 = C_0^2 = C_0^3 = 60$ 元,乘火车出行车票费 $C_0^4 = 50$ 元.

网络交通流处于均衡状态时,此时驾车到达 P_i 的车流量 v_i 等于停车场限制容量 X_i ,假定选择铁路出行人数不发生变化,则由式(3)~(8)可反推出均衡状态下出行方式和停车方式转换 τ 值,如表2所示.

表2 不同选择方式的出行者数量
Tab.2 Traveller's quantity of different travel mode

选择方式	数量	方式转换 τ 值
选择乘火车数量 Q_1	1 800	$\tau_1 < 0.291$
选择停车场 P_3 数量 $Q_2 = X_3$	500	$0.291 < \tau < 0.343$
选择停车场 P_2 数量 $Q_3 = X_2$	400	$0.343 < \tau < 0.448$
选择停车场 P_1 数量 $Q_4 = X_1$	300	$0.448 < \tau$

从 A 到 B 驾车出行量有关系

$$v_1 = Q_4 \quad v_2 = Q_3 \quad v_3 = Q_2$$

(9)

由式(1)和式(9)计算出从 A 到 B 的行程时间为 $t_1 = t_2 = t_3 = 42.5$ min. 已知从 B 到 P_i 的时间 $\bar{t}_i$,基础出行货币费用 C_0^i ,据出行总费用函数 $C(\tau)$ 式

(2), 求出网络交通流均衡时停车场 P_i 的最优收费价格, 此时停车场 P_1 和 P_2 达到了相同的最大收益值 3 600 元, 如表 3 所示.

表 3 网络均衡状态下停车费最优值
Tab.3 Optimum parking pricing in equilibrium network

停车场	停车场收益/元	停车费/元
P_1	3 600	12
P_2	3 600	9
P_3	2 500	5

当出行者选择不同的交通方式和停车方式时, 制定最优的收费价格, 使得路网交通流达到动态均衡, 保证交通网络上每个出行者的出行成本最低. 图 3 所示为网络上选择不同出行方式和停车方式的出行者概率密度分布, 以及出行总成本的变化曲线 (括号内为最优收费价格).

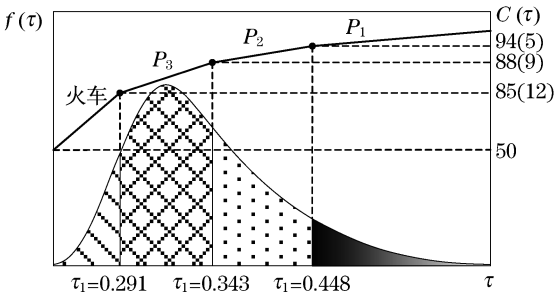


图 3 出行者出行方式与停车方式分布和出行成本变化趋势
Fig.3 Traveller's travel mode, parking mode's distribution and travel total cost's changing

4 结束语

采用出行者 VOT 来衡量不同出行者的经济收入水平, 考虑不同收入群体对出行成本的可承受能力, 建立一个有容量限制停车场的简单交通网络, 在网络平衡状态下, 分析如何制定合理的收费价格, 使得不同 VOT 出行者的出行成本最低, 运用经济杠杆调整交通流动态平衡, 最大限度地利用道路资源和停车资源, 并通过算例具体分析了最优收费价格的求解方法. 本文所分析的容量限制收费停车场的收费策略, 是一个做了很多假定的简单交通网络, 这也是本文的主要不足之处, 要在实际中应用, 还需要对模型做进一步的研究与分析. 另外, 为了使本文成果推广到更广泛的领域, 今后还将研究多个 OD 对时的交通网络上的停车场最优收费策略, 以及道路拥挤收费和停车收费的组合优化问题.

参考文献:

[1] ADLER J L, CETIN M. A direct redistribution model of congestion pricing[J]. Journal of Transportation Research Part B, 2001, 35: 447 - 460.
[2] ELIASSON J, MATTSSON L G. Equity effects of congestion pricing quantitative methodology and a case study for Stockholm[J]. Journal of Transportation Research Part A, 2006, 40: 602 - 620.
[3] YANG Hai, ZHANG Xiao-ning. Modeling competitive transit and road traffic information services with heterogeneous endogenous demand[J]. Journal of Transportation Research Record, 2002, 1783: 7 - 18.
[4] 张小宁, 曹津. 交通拥挤收费的社会公平性分析[J]. 同济大学学报, 2010, 38(11): 1605 - 1609.